

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

SINERGIA DO ACABAMENTO SUPERFICIAL NA RESISTÊNCIA A CORROSÃO EM PEÇAS USINADAS E RETIFICADAS NOS ESTADOS NORMALIZADO, TEMPERADO E REVENIDO DO AÇO SAE 1045

Diego Aparecido Boschetti, dg.boschetti@gmail.com¹

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br²

Sonia Braunstein Faldini, sonia.faldini@mackenzie.br³

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua Domingos Belmonte, 112 – Jd. Piratininga – São Paulo/SP,

²Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930 – Consolação – São Paulo/SP,

³Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rua da Consolação, 930 – Consolação – São Paulo/SP.

Resumo: O aço SAE 1045 é aplicado em larga escala na indústria desde a construção de engrenagens a trilhos de trem. Os acabamentos superficiais são nomeados pelas saliências e reentrâncias que compõem um grupo de irregularidades, influenciando em projetos e na utilização. Tratamentos térmicos são processos de obtenção de propriedades adequadas a partir do aquecimento e posteriormente o resfriamento do material. A corrosão por pite é uma mazela que afeta os empreendimentos tanto construtivamente como economicamente, pois se alastra rapidamente gerando diversas consequências como trincas. A combinação dos tipos de rugosidades e tratamentos térmicos causam níveis de corrosão em meios propícios, sendo necessário atribuir alguma melhoria para este problema. O objetivo deste trabalho foi analisar a partir de ensaios a possível formação de corrosão por pite em superfícies torneadas, acabamento e desbaste, e retificadas com parâmetros determinados, combinando os tratamentos térmicos de normalização, têmpera e revenimento. A metodologia aplicada foi a elaboração de nove corpos de prova, onde cada estava em função de um tipo de rugosidade e um tipo de tratamento térmico, imersos em uma solução de cloreto férrico e água destilada na temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 72 horas. Ao analisar cada corpo de prova notou-se que a rugosidade do acabamento no torno CNC era menor do que na retificação com rebolo de granulação média. A presença de películas de óxido, como a hematita e a magnetita, era maior nos corpos de prova temperados, e em menor escala nos revenidos e normalizados. A conclusão é que não houve surgimento de corrosão por pite e sim corrosão generalizada, ou seja, formação de películas de óxido e perda de massa. Aços que possuem superfícies com alta rugosidade e tratamento térmico por têmpera aceleram o processo de corrosão. Logo um material de acabamento com baixas irregularidades superficiais e normalizado termicamente, não contribui para o efeito de corrosão em curto prazo.

Palavras-chave: sinergia, aço, usinagem, tratamento térmico, corrosão.

1. INTRODUÇÃO

As superfícies dos componentes mecânicos devem ser adequadas aos tipos de funções que exercem. Por esse motivo, a importância dos estudos do acabamento superficial aumenta à medida que crescem as exigências do projeto. Os inúmeros processos de fabricação de peças determinam rugosidades distintas.

A rugosidade está presente em todos os materiais, desde o vidro até um carvão, sendo um parâmetro de avaliação da qualidade.

Ao determinar certo material para uma dada função, o acabamento superficial deve ser analisado. Pode ser citado a capacidade de carga de um casquilho em função da rugosidade, como um exemplo. Para obter uma carga elevada é necessária uma superfície menos rugosa (Agostinho, Rodrigues e Lirani, 2009).

Os metais quando estão na forma de minério, resistem a modificações do meio em que se encontram. Ao serem transformados pelo processo de metalurgia, eles possuem uma tendência a voltar para seu estado original. O nome desse processo é corrosão.

Os custos com as perdas de materiais corroídos chegam a ser em torno de 3% a 4% do Produto Interno Bruto (PIB). A figura 1 identifica a porcentagem e a contribuição em dólar do custo da corrosão total para 5 segmentos distintos dos

Estados Unidos da América (EUA). Esses valores estimados são tanto para a reposição, prevenção, manutenção e proteção do material.

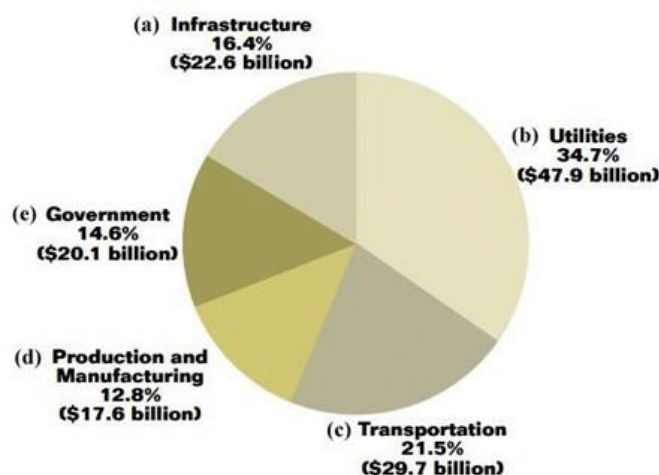


Figura 1. Percentual e custo da corrosão nos principais segmentos dos EUA: (a) infraestrutura, (b) utilidades, (c) transporte, (d) produção e manufatura e (e) governo, por NACE (2013).

Em construções civis ou de máquinas, há necessidade de estipular a vida útil dos componentes que envolvem toda a estrutura dimensionada. Os aços são materiais que devem ser estudados para que sua aplicabilidade não interfira em danos futuros e não afetem a economia.

As vulnerabilidades do tipo de material a ser requisitado é um parâmetro que deve se adequar as especificações do projeto. Um dos motivos para que os materiais estejam vulneráveis a corrosão é o nível do acabamento superficial. Uma rugosidade baixa tende a ter menos efeitos corrosivos comparando-se com peças de superfícies irregulares por reterem em seus sulcos elementos oxidantes.

A relação dos tratamentos térmicos e acabamentos superficiais podem ser estudados com o intuito de evitar efeitos de deterioração do material, contribuindo para a melhoria de processos e projetos no ramo da engenharia industrial.

O objetivo geral deste trabalho é identificar as influências da combinação de rugosidade e de tratamento térmico em uma superfície metálica na resistência a corrosão. Analisar através de ensaios se há o estado de corrosão por pite, nas superfícies torneadas e retificadas em parâmetros distintos, juntamente com os tratamentos térmicos de normalização, têmpera e revenimento, no aço SAE 1045.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Preparação dos Corpos de Prova e Experimento.

O experimento se baseia em corpos de prova de aço SAE 1045 pré-usinados. Houve a elaboração de 9 corpos de prova iniciais, onde cada um deles foi acabado superficialmente e tratado termicamente de formas distintas, conforme ilustrado na figura 2.

ACABAMENTOS SUPERFICIAIS		TRATAMENTOS TÉRMICOS		
		Normalização	Têmpera	Revenimento
Torno CNC	Acabamento	☐	☐	☐
	Desbaste	☐	☐	☐
Retificadora Cilíndrica	Retificado	☐	☐	☐

Figura 2. Combinação dos processos para os corpos de prova.

A primeira parte do experimento foi a usinagem, em torno CNC, dos corpos de prova. Realizando o acabamento e o desbaste, com parâmetros de usinagem que constam na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de usinagem utilizados nos processos de acabamento e desbaste dos corpos de prova.

Parâmetros	Acabamento	Desbaste
V_c (m/min)	300	150
f_n (mm/revolução)	0,05	0,4
n (rpm)	1.256	628

Três corpos de prova foram usinados com sobremetal de 0,5 mm para retificação por uma ferramenta abrasiva.

Após os processos de acabamento superficial, cada corpo de prova foi obtido um diâmetro externo 2 ½” e seccionado em 4 partes de dimensões semelhantes na longitudinal, conforme figura 3.



Figura 3. Corpo de prova inicial.

Os parâmetros de rugosidade das superfícies foram aferidos pelo rugosímetro.

A necessidade de seccionar o corpo de prova foi por causa do processo de tratamento térmico e da norma de corrosão.

Os tratamentos térmicos de estudo deste trabalho foram a normalização, têmpera e revenimento.

O motivo pelo qual não se realizou os tratamentos térmicos antes dos acabamentos superficiais foi porque as máquinas-ferramentas utilizadas não são apropriadas para materiais tratados termicamente, como a têmpera e o revenimento.

As temperaturas de aquecimento e ambientes de resfriamento realizados estão descritas na tabela 2.

Tabela 2. Temperaturas e meios de resfriamento dos tratamentos térmicos de normalização, têmpera e revenimento.

Parâmetros	Normalização	Têmpera	Revenimento
Temperatura de aquecimento	850° C	850° C	370° C
Meio de resfriamento	Ar	Água (Temperatura Ambiente)	Ar

O tempo de permanência de um material é de 1 hora para cada 1 polegada de espessura. Os corpos de prova ficaram em torno de 30 minutos porque são de espessura de ½”.

O ataque corrosivo ocorreu utilizando o procedimento de corrosão por pite descrito na norma ASTM standard G 48.

O procedimento se baseia em deixar os corpos de prova imersos em uma solução de cloreto férrico e água destilada ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) no período de 72 horas com temperatura constante de $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Sendo a área de corrosão apenas a superfície usinada, foi necessário isolar as outras partes com silicone para obter um melhor resultado.

Antes do experimento, foi necessário pesar os corpos de prova em uma balança de precisão de três algarismos significativos, localizado no laboratório de química.

No experimento, em cada recipiente foram imersas 2 amostras da combinação de cada acabamento superficial e tratamento térmico, para 400 ml de solução.

Logo após a imersão dos corpos de prova, os recipientes foram levados ao banho de água que estava em torno de $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, conforme a norma ASTM standard G 48. A figura 4 apresenta o momento em que os experimentos foram imersos na banheira termostática.



Figura 4. Soluções com as amostras no momento da imersão na banheira termostática a $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Após as 72 horas os corpos de prova foram retirados e lavados em água destilada corrente.

Os procedimentos finais deste trabalho foram a pesagem dos corpos de prova após corrosão e a micrografia do aspecto corrosivo gerada pela experiência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro ponto a ser analisado é a rugosidade das superfícies acabadas, desbastadas e retificadas.

Na tabela 3 foram obtidos os parâmetros de rugosidade em três áreas distintas do mesmo corpo de prova.

Tabela 3. Valores dos parâmetros de rugosidade R_a , R_y , R_t , R_z e R_{3Z} nos acabamentos superficiais com $l_e = 2,5 \text{ mm}$ e $V_a = 0,5 \text{ mm/s}$.

Parâmetros de rugosidade (μm)		R_a	R_y	R_t	R_z	R_{3Z}
Acabamento						
Direção	1	0,38	2	2,3	1,9	0,6
	2	0,39	3,3	2,9	2,2	0,8
	3	0,34	2,3	3	1,8	0,7
Desbaste						
Direção	1	6,36	23,2	23,2	22,8	L/P
	2	6,44	23,3	23,7	22,9	L/P
	3	6,27	26,2	26,2	24,7	L/P
Retificação						
Direção	1	0,56	5,4	5,8	4,7	3
	2	0,47	3,5	4,1	3,4	2,6
	3	0,61	5,7	5,9	4,8	3,2

Em todos os parâmetros, a superfície com acabamento no torno é menor comparando-se com a área de retificação.

No parâmetro R_{3Z} da superfície desbastada não houve valor encontrado, pois, a margem de medição do rugosímetro não era adequada para aquela rugosidade.

Conforme estudo, o desbaste tem valores maiores que o acabamento e a retificação em todos os parâmetros verificados.

A figura 5 faz a comparação das médias das três áreas de cada superfície em função dos parâmetros de rugosidade.

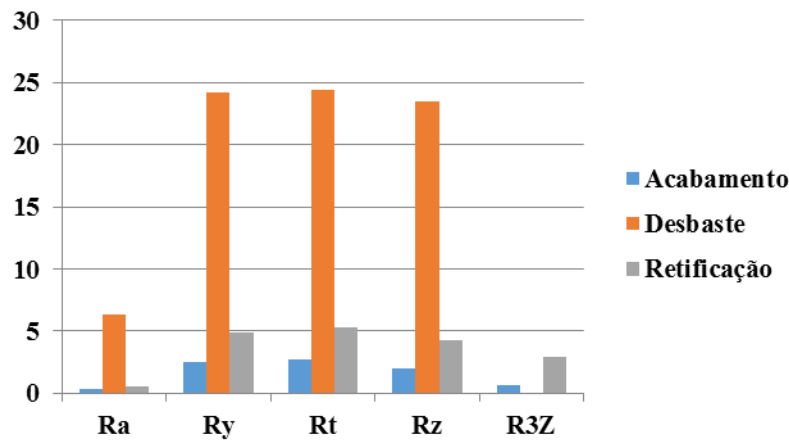


Figura 5. Comparação da média dos 3 acabamentos superficiais, em função de cada parâmetro de rugosidade em μm .

Após os tratamentos térmicos foi realizado o processo de metalografia, através do embutimento, lixamento, polimento e ataque químico em cada corpo de prova para a foto micrográfica das amostras de normalização, têmpera e revenimento.

Em todos os tratamentos térmicos, ocorreu o processo de descarbonetação, porém não houve perda de massa significativa e nem a necessidade de um estudado aprofundado.

Na figura 6 são expostos os corpos de prova tratados termicamente, embutidos e preparados para análise das microestruturas obtidas.

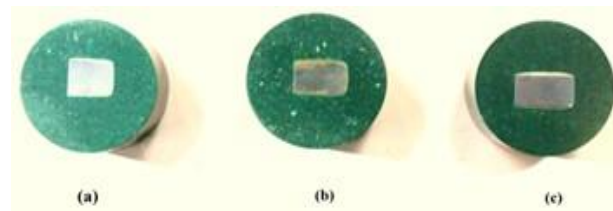


Figura 6. Corpos de prova para análise de microestrutura dos tratamentos térmicos de (a) normalização, (b) têmpera e (c) revenimento.

A primeira micrografia observada foi do tratamento térmico de normalização, conforme imagem A0 observar, foi identificada a presença de perlita fina e ferrita equiaxial na microestrutura, conforme figura 7. A ferrita é de tonalidade mais clara, logo a perlita a mais escura.

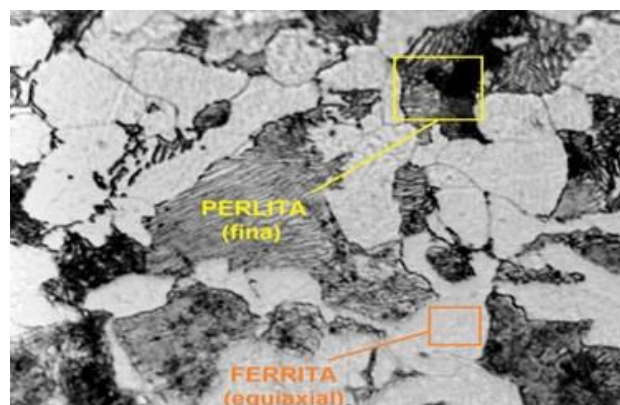


Figura 7. Micrografia da microestrutura do tratamento térmico de normalização. Ampliação de 200X. Ataque: Nital 2%.

A matriz observada no tratamento térmico por têmpera é martensítica. Na figura 8 é possível evidenciar a martensita com aparência de agulhas.

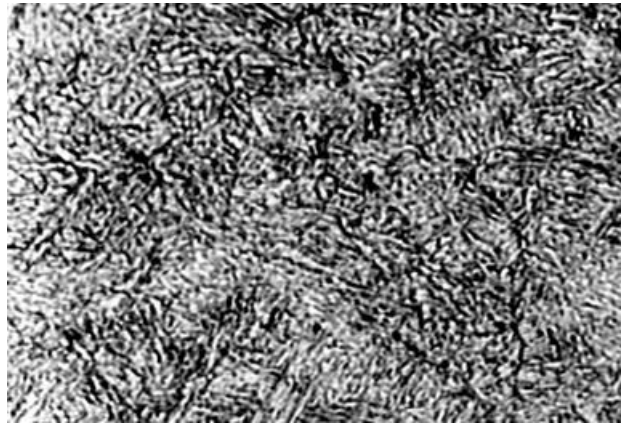


Figura 8. Martensita em forma de agulhas proveniente do tratamento térmico de têmpera. Ampliação de 500X. Ataque: Nital 2%.

A microestrutura gerada pelo tratamento térmico de revenimento foi ferrita acicular e cementita em forma de tubos conforme figura 9.

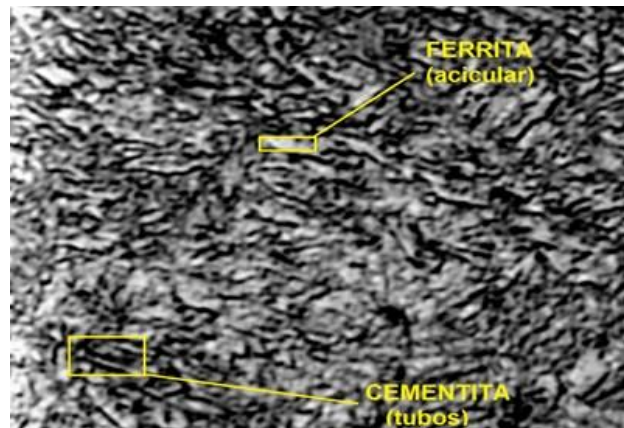


Figura 9. Ferrita acicular e cementita em forma de tubos proveniente do tratamento térmico de revenimento. Ampliação de 1000X. Ataque: Nital 2%.

Durante às 72 horas de imersão dos corpos de prova na solução de cloreto férrico e água destilada, na temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, observações foram realizadas na coloração da solução, conforme a figura 10.



Figura 10. Recipientes com a solução após a permanência no banho em temperatura controlada.

A cada 24 horas de observação, notou-se que a solução estava cada vez mais alaranjada e de tonalidade escura.

Este fenômeno da coloração corresponde ao estado maior de corrosão durante toda permanência dos corpos de prova na solução em temperatura elevada constante.

Após retirar e lavar as amostras em água destilada, elas geraram películas de óxidos, conforme figura 11.

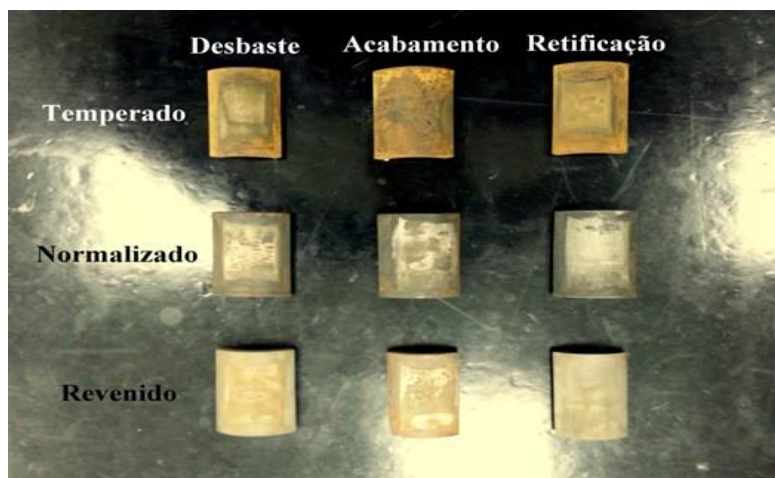


Figura 11. Superfícies das amostras após a corrosão.

Após lavagem das amostras, houve a verificação da perda de massa. Os valores obtidos estão na tabela 4.

Tabela 4. Valor da perda de massa de cada amostra após o processo de corrosão.

Massa (g)	Normalização	Têmpera	Revenimento
Acabamento	$an_1 = 12,794$	$at_1 = 24,568$	$ar_1 = 19,875$
	$an_2 = 13,101$	$at_2 = 24,915$	$ar_2 = 21,336$
Desbaste	$dn_1 = 19,638$	$dt_1 = 31,526$	$dr_1 = 29,897$
	$dn_2 = 20,145$	$dt_2 = 33,082$	$dr_2 = 31,216$
Retificação	$rn_1 = 14,295$	$rt_1 = 25,364$	$rr_1 = 22,369$
	$rn_2 = 14,588$	$rt_2 = 26,067$	$rr_2 = 22,932$

Nota-se que os maiores valores de perda de massa por causa da corrosão foram na têmpera com o acabamento superficial de desbaste. A figura 12 mostra a média das amostras de cada combinação de processos, para melhor visualização dos dados obtidos.

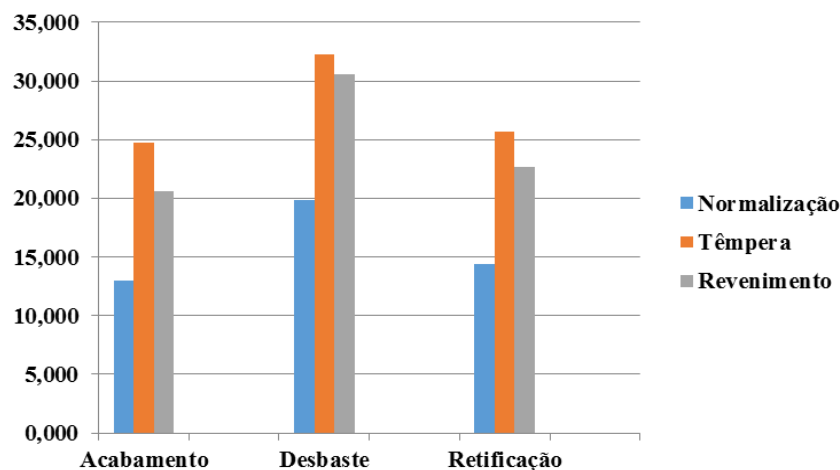


Figura 12. Média da perda de massa dos corpos de prova submetidos ao experimento de corrosão em gramas.

A perda de massa pode ser dada pelo tempo de permanência e a área exposta a corrosão. A figura 13 representa a perda de massa (mg) por área (dm^2) e tempo (dia).

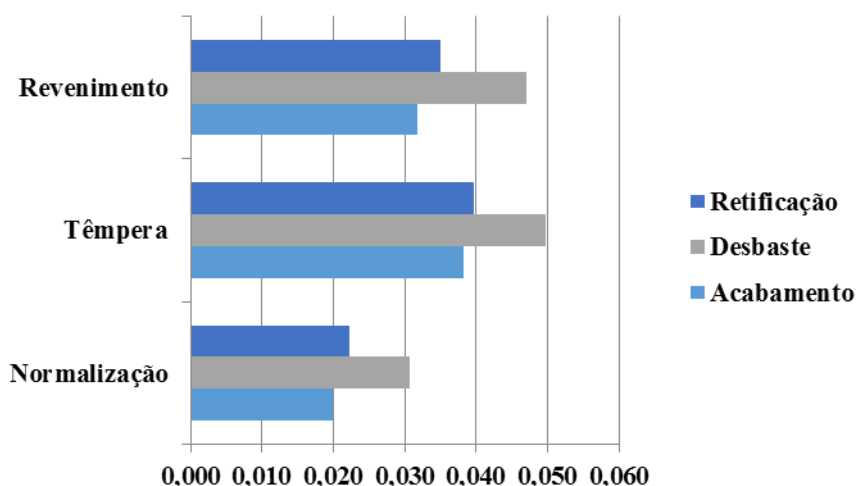


Figura 13. Massa por área tempo (mdd) da média dos corpos de prova.

Os corpos de prova corroídos foram levados até os microscópios do laboratório de metalurgia para o estudo do tipo de corrosão gerada.

Em todos os corpos de prova, a corrosão se deu por formação de camadas de óxidos, como a magnetita na coloração escura, e a hematita na tonalidade alaranjada, gerando corrosão, conforme a figura 14.

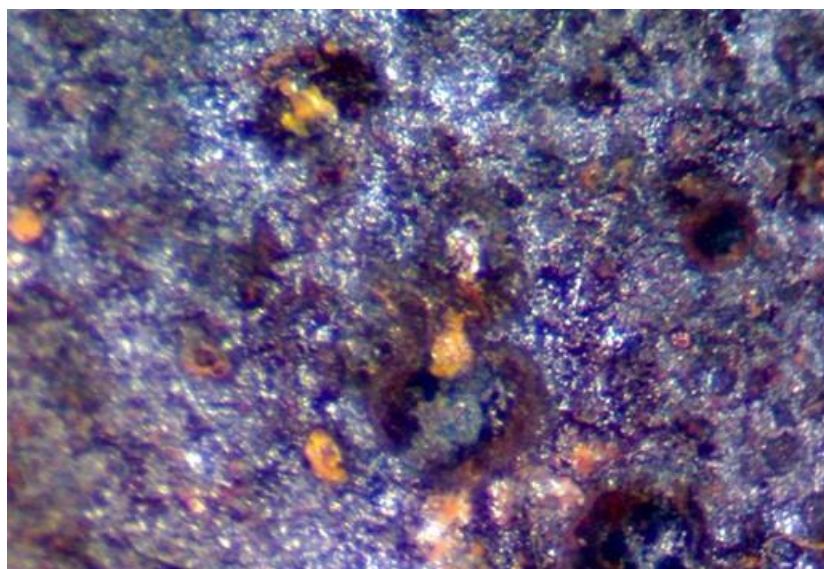


Figura 14. Micrografia do corpo de prova acabado e tratado termicamente por normalização. Ampliação de 20X.

4. CONCLUSÃO

Em todos os parâmetros de rugosidade analisados, o acabamento gerado pelo torneamento em CNC é menos rugoso comparado ao da superfície retificada devido ao tipo de rebolo empregado no processo. Sendo assim, ao utilizar determinados parâmetros de usinagem para acabamentos, deixa de ser necessário o uso da retífica cilíndrica para obter uma rugosidade melhor quando a ferramenta abrasiva possui granulação média ou inferiores.

Durante o experimento de corrosão, a cada 24 horas a coloração da solução estava cada vez mais alaranjada pelo fato do material ser corroído, pois o ferro estava sendo solubilizado. É necessário evitar meios em que a composição química do ambiente não tenha cloreto, pois mesmo não tendo gerado pite, a substância acelerou a reação.

Após retirar as amostras foi verificado o forte surgimento de películas de oxidação de hematita e magnetita nos corpos de prova provenientes do tratamento térmico de têmpera, sendo que o revenimento e a normalização também obtiveram as camadas, porém, menores proporções e, mesmo assim, nenhum indício de corrosão por pite.

A relação de uma superfície muito rugosa e o tratamento térmico de têmpera, que contém tensões residuais e microestrutura metaestável, ou seja, não difundido o carbono da austenitização, acelera o processo corrosivo. Logo, rugosidades baixas e o tratamento térmico de normalização, por ter o maior tempo de solubilização do carbono no resfriamento do aço e possuir uma microestrutura estável, não acelera o processo de corrosão em curto prazo.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus e a Universidade Presbiteriana Mackenzie, que nos proporcionou a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Agostinho, O. L.; Rodrigues, A. C. S.; Lirani, J. Tolerâncias, ajustes, desvios e análise de dimensões. 10. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2009.
- American Society for Testing Materials (ASTM). ASTM standards for corrosion testing of metals: ASTM standard G 48. 2. ed. New York. 1996.
- American Society for Microbiology (ASM). Metals handbook: heat treating. 9. ed. v. 4. Ohio: McGraw-Hill, 1997.
- Callister, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2008.
- Chiaverini, V. Aços e ferros fundidos. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira dos Metais, 2005.
- Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L.. Tecnologia da usinagem dos materiais. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.
- Drake, P. J. Dimensioning and tolerancing handbook. New York: McGraw-Hill, 1999.
- Gemelli, E. Corrosão de materiais metálicos e sua caracterização. São Paulo: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2001.
- Gentil, V. Corrosão. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2011.
- Silva, A. L. C.; Mei, P. R. Aços e ligas especiais. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.
- Tschätsch, H. Taschenbuch spanende formgebung: erfahrung und werkzeuge, berechnung und richtwerke. München: Carl Hanser Verlag, 1980.
- Van Vlack, L. H. Princípios de ciências dos materiais. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho.

SYNERGY SURFACE FINISH IN CORROSION RESISTANCE IN MACHINED PARTS AND GROUND IN THE STANDARDIZED, SEASONED AND TEMPERING SAE 1045 STEEL

Diego Aparecido Boschetti, dg.boschetti@gmail.com¹

Marco Stipkovic Filho, mstip@uol.com.br²

Sonia Braunstein Faldini, sonia.faldini@mackenzie.br³

¹Mackenzie Presbyterian University, 112, Domingos Belmonte St – Jd. Piratininga – São Paulo/SP,

²Mackenzie Presbyterian University, 930, Consolação St – Consolação – São Paulo/SP,

³Mackenzie Presbyterian University, 930, Consolação St – Consolação – São Paulo/SP.

Abstract. *The objective of this study was to analyze from tests the possible formation of pitting corrosion on machined surfaces, finished and thinning, rectified in certain parameters, combining with heat treatment of normalization, quenching and tempering. The conclusion is there was not appearance of pitting corrosion, but generalized, in order words, the formation of oxide pellicle and mass loss. The steels that have surfaces with high roughness and tempering heat treatment accelerate the corrosion process. Soon a finished material with low irregularity and normalized heat does not contribute to the corrosion effect on short notice.*

Keywords: *synergy, steel, machining, heat treating, corrosion.*